News Release

大陽日酸 The Gas Professionals

２０１５年２月１７日

株式会社大分サンソセンターでの事故調査結果報告の件

（株式会社大分サンソセンターでの事故について　第四報）

２０１４年１２月１２日に発生した株式会社大分サンソセンターにおける事故につきましては、近隣の住民の皆さまをはじめとする関係者の皆さまに多大なご心配とご迷惑をおかけしましたことを深くお詫び申し上げます。

弊社では、事故調査委員会及び事故対策審議会にて原因究明と再発防止策の策定を行い、このほど関係行政機関への報告を完了いたしました。概要につき、下記のとおりお知らせいたします。

記

１．事故の概要

発生事業所	株式会社大分サンソセンター
発災設備	No.3 放液溜
発災日時	2014 年 12 月 12 日(金)　午前９時６分破裂（午前８時放液開始）
人的被害	なし
物的被害	放液溜全体が破裂（関連配管破損）
	周辺設備の液化装置の破損によるパーライト(粉末断熱材)噴出
	約 650 メートルの範囲に破片が飛散(製鐵所構外に飛来・物損)

２．破裂した放液溜の概要

放液溜は空気分離装置等から液化ガスを放出する際に、設備や地面等に直接接触することを防ぐ目的で設置されます。

型式	自然蒸発式　大気開放型　ステンレス製円筒型容器
形状	直径 4,000mm×高さ 6,000mm×肉厚３mm(胴部)
液入口配管	200A
放出管(ガス出口)	外径 1,016mm×肉厚６mm
製造年月	1977 年２月

３．事故原因の推定

放液溜に水が相当量滞留していた為、低温の液化ガスが放液溜に放液された際に氷が生成され、その氷が液化ガスを閉じ込めたことで内圧が上昇し破裂に至ったと推定いたしました。

４．再発防止対策

大分サンソセンター及び弊社では、以下の通り再発防止策を実施いたします。

●大分サンソセンターの取り組み

(1) 設備管理・作業管理・運転管理

・ 放液溜の確実な水抜きとルール化を行う。

・設備及び作業手順の総点検を行う。

・ 管理基準を整備し、作業手順等に作業目的を加味する。

(2)人材・教育

当該事故について、全従業員への教育を行い、日常的な安全活動の推進によりリスク感性の向上を図る。

●大陽日酸の取り組み

(1)関連事業所の総点検

・ 放液溜の内部点検を実施し（完了)、作業手順の見直しを行う。

・ 工場管理機能のチェックを徹底する。

(2)放液溜の設計への反映など

(3)納入先ユーザー及び他社装置メーカーへの水平展開

５．添付資料

(1)㈱大分サンソセンターNo.3 放液溜破裂事故　調査報告書【要約版】

(2)㈱大分サンソセンターNo.3 放液溜破裂事故　調査報告書

以上

本件に関するお問い合わせ
大陽日酸株式会社
東京都品川区小山 1-3-26 東洋 Bldg.
国際・経営企画本部広報・ＩＲ部　国谷・鎌田
TEL:03-5788-8015

㈱大分サンソセンター　No.3 放液溜破裂事故　調査報告書【要約版】

2015 年 1 月 30 日
大陽日酸事故調査委員会

1．事故の概要

発災事業所	（株）大分サンソセンター
発災設備	No.3 放液溜
発災日時	2014 年 12 月 12 日(金)　午前 9 時 6 分破裂（午前 8 時　放液開始）
人的被害	なし
物的被害	放液溜全体が破損（関連配管破損） 周辺設備の液化装置の破損によるパーライト(粉末断熱材)噴出 約 650m の範囲に破片が飛散(製鐵所構外に飛来・物損)

2．発災設備の概要

放液溜＝空気分離装置等から液化ガスを放液する際に、設備や地面等に直接接触することを防ぐ目的で設置

〈発災設備　：　No.3 放液溜〉

・型式	自然蒸発式　大気開放型　ステンレス鋼製円筒型容器
・形状	直径　4,000mm　×　高さ　6,000mm　×　肉厚 3mm(胴部)
・液入口及び放出管（ガス出口）	液入口配管：200A、放出管(ガス出口)：外径 1,016mm×肉厚 6mm
・製造年月	１９７７年２月

3．事故原因の推定

FTA 解析による事故要因分析の結果、主要因として「炭化水素の燃焼による破裂」「滞留水の氷結閉塞による破裂」が考えられた。以下の検証の結果、事故原因は「滞留水の氷結閉塞による破裂」と推定された。

（1）炭化水素の燃焼による破裂

① 炭化水素濃縮挙動調査
放液溜に供給された液化ガス中の炭化水素濃度は、濃縮されても爆発下限界よりも十分に小さいので燃焼に至らない。

② メタン全量燃焼と金属破片の飛翔
仮に放液された液化ガス中のメタンの全量が完全燃焼し、運動エネルギーに変換されたと仮定した場合の破片の飛翔距離は実際の飛翔距離に比較してはるかに小さい。

③ 放液溜は十分な接地がされているため、静電気が発生したとしても帯電せず着火源とならない。

④ 飛散物に溶損やカーボン等の付着が見られない。

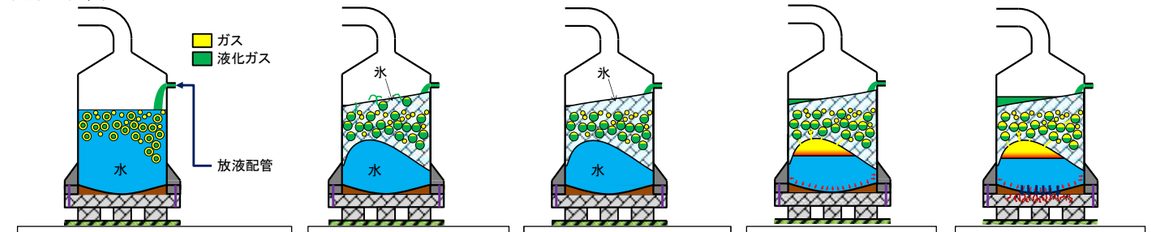
【炭化水素の燃焼による破裂の可能性はない】

（2）滞留水の氷結閉塞による破裂

① 現地調査結果
1)No.2 放液溜（No.3 放液溜と同型で放液連絡配管で接続されている）内に水の滞留が確認された。
2)放液連絡配管フランジ部調査の結果、１ヶ所のガスケット下側（6 時方向）で 20～30mm の欠損が確認された。
3)同フランジ部調査の結果、十分な面圧でフランジを締付けていない箇所が１ヶ所あった。
（No.3 放液溜内に水が滞留していた可能性が高い。）

② 液化ガスによる製氷と昇圧確認実験
1) 液化ガスは塊となって水中に沈み、蒸発が進むと氷を形成しながら水面に浮上。
2) 水面近くを撹拌しながら冷却し、水の凝固点近くでかなり早いスピードで氷結する。
3) 氷中に様々の大きさの空隙が形成され、液化ガスが封じ込められる。
4) 液化ガスはその空隙の隙間からガスとして放出される場合とその空隙が壊れることで下部層に流れ気化する場合がある（但し、昇圧する頻度は低い）。
（水が滞留し液化ガスが放液されると氷の蓋が形成し、氷の下で内圧が上昇することが確認された。）

（3）破裂のメカニズム



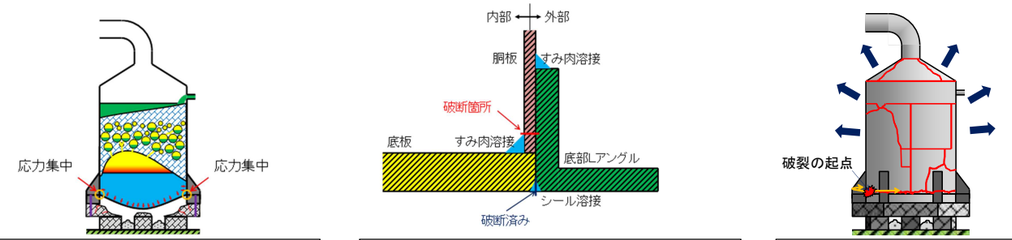
a)ｶﾞｽｹｯﾄ破損部から配管に浸入した水が放液溜に滞留し、液化ｶﾞｽと水が熱交換

b) 上面が氷層で覆われ亀裂から内部の液とｶﾞｽが噴出

c) 亀裂が塞がり液化ｶﾞｽが閉じ込められる

d) 氷層内の液化ｶﾞｽが気化し圧力の高いｶﾞｽ層形成

e) 基礎ｺﾝｸﾘｰﾄが内圧 100kPa で崩落開始



f) 基礎ｺﾝｸﾘｰﾄの支えが無くなり、底板と胴板の溶接部分へ応力集中

g) 内圧 140kPa で底板のｼｰﾙ溶接部破断。300kPa で胴板すみ肉溶接上方破断

h) 胴板の破断箇所を起点に亀裂が進展、放液溜破裂

4．事故の要因

直接要因

(1)放液溜に水が滞留していたことが直接要因である。

間接要因

サンソセンター、また報告を受けた大陽日酸の部門も放液溜の破裂を想定できなかった。

(1)２００１年の底板変形トラブル検証と対策が不十分
・氷による膨張と判断し、他要因を考慮しなかった。
・水が大量に滞留することを異常と捉えず、水浸入経路の追究を行わなかった。

(2)水抜き弁の未操作
・２００１年の底板変形トラブル対策として設置した水抜き弁の操作を作業手順書に反映させなかった。

【問題点】

(1)異常に対するリスク感性の不足
(2)工場管理上の PDCA の不足（連携不足と情報の共有が不十分）
(3)Know-Why を関連付けた教育等、安全に対する取組み不十分(技術伝承不足)

5．再発防止対策の提言

大気開放系設備においても、条件が揃えば破裂を伴う大きな事故が発生するとの認識に立ち以下を提言する。

(1)大分サンソセンターの取組
・設備管理・作業管理・運転管理
確実な水抜き作業の実施とルール化、設備異常時の確実な情報伝達、全作業手順書の内容見直し。
設備・作業リスクの洗い出しと改善、Know-Whyを加味した工場管理基準・作業手順書整備。
・人材・教育
当該事故の全従業員への教育、日常的な安全活動の推進によるリスク感性の向上。

(2)大陽日酸の取組
・関連事業所の総点検（放液溜調査、主要設備以外のリスクアセスメント、工場管理機能のチェック徹底）。
・放液溜の設計への反映。
・装置納入先ユーザー及び他社装置メーカーへの水平展開。

以　上

（株）大分サンソセンター

No.3放液溜破裂事故調査報告書

2015年1月30日

大陽日酸(株)事故調査委員会

目 次

1. 序
1.1.はじめに ---- 1
1.2.事故調査委員会 ---- 1
1.2.1.事故調査委員会の目的および構成 ---- 1
1.2.2.事故調査委員会の経緯 ---- 1
1.3.事故対策審議会 ---- 2
1.3.1.事故対策審議会の目的および構成 ---- 2
1.3.2.事故対策審議会の経緯 ---- 2

2. 事故の概要
2.1.発災事業所および発災設備 ---- 3
2.2.発災日時 ---- 3
2.3.被害状況 ---- 3

3. 発災事業所および発災設備の概要
3.1.発災事業所の概要 ---- 4
3.2.酸素、窒素、アルゴンガスの製造と放液の概要 ---- 5
3.3.発災設備の概要 ---- 5

4. 事故の発生状況
4.1.破裂事故の発生と対応 ---- 6
4.2.周辺設備破損状況 ---- 6

5. 現地調査結果
5.1.No.3 放液溜関連設備の点検結果 ---- 7
5.2.No.2,3 放液溜の整備・運転状況 ---- 7
5.3.No.3 放液溜破損・飛散状況 ---- 8

6. 事故原因の推定
6.1.FTA 解析 ---- 9
6.2.炭化水素の燃焼による破裂について ---- 11
6.2.1.放液溜内の炭化水素濃度挙動調査 ---- 11
6.2.2.メタン全量燃焼と金属破片の飛翔 ---- 11
6.2.3.着火源となる静電気について(放液溜の接地) ---- 11
6.3.滞留水の氷結閉塞による破裂について ---- 11
6.3.1.圧力上昇のメカニズム ---- 11
6.3.2.水の浸入経路および浸入量の検討 ---- 12
6.3.3.放液溜への液化ガス放液量および氷結量の検討 ---- 12

6.3.4.液化ガスと水による氷の生成検証実験 ---------- 14
6.4.破片からの破裂圧力の推算 ---------- 16
6.4.1.破片飛翔距離からの破裂圧力の推算 ---------- 16
6.4.2.底板の変形量からの破裂圧力の推算 ---------- 16
6.5.放液溜の破裂圧力の推算 ---------- 16
6.5.1.放液溜の構造上の強度から破裂圧力の推算 ---------- 16
6.5.2.基礎強度からの底板面圧の推算 ---------- 16
6.6.破裂発生に至るメカニズム推定 ---------- 17

7. 要因 ---------- 18

8. 再発防止対策の提言 ---------- 19
8.1.大分サンソセンターの取組み ---------- 19
8.2.大陽日酸の取組み ---------- 20

9. おわりに ---------- 21

1. 序

1.1.はじめに

2014 年 12 月 12 日(金)午前 9 時 6 分に(株)大分サンソセンターにおいて、3 号空気分離装置の停止作業に伴う液化ガスの放液作業中に、№3 放液溜が破裂し、破片が製鐵所構外にも飛散する事故が発生した。

本事故の発生を受けて、12 月 14 日、本事故の原因究明と再発防止対策検討のため大陽日酸(株)と(株)大分サンソセンター共同で、(株)大分サンソセンター№3 放液溜破裂事故調査委員会(以下、「事故調査委員会」という)が設置された。

当委員会は、2015 年 1 月 25 日までの間、計 8 回の事故調査委員会を開催し、事故現場の検証をはじめ、データ解析や検証実験、並びに記録類を含む関係書類や証言、社外学識経験者等第 3 者を含めた事故対策審議会の方針や意見などに基づいた検証を行い、事故原因の解明と再発防止対策についての検討を進めてきた。今般、本事故の発生に至る原因等を解明し、再発防止対策の提言をまとめるに至ったことから、本報告書にて最終報告を行う。

1.2.事故調査委員会

1.2.1.事故調査委員会の目的および構成

事故調査委員会は、本事故の原因究明と再発防止対策の策定を目的として、大分サンソセンターの運営管理を担い、指導する立場の大陽日酸 10 名、および大分サンソセンター2 名を加えて構成された。

1.2.2.事故調査委員会の経緯

事故調査委員会の開催日および主な審議内容は以下のとおり。

(1)第 1 回事故調査委員会　2014 年 12 月 15 日(月)　(株)大分サンソセンター
- ①事故調査委員会体制の決定
- ②今後の予定・進め方について
- ③調査項目、検証事項の抽出

(2)第 2 回事故調査委員会　2014 年 12 月 18 日(木)　大陽日酸(株)本社
- ①破裂発生メカニズムについて
- ②直接原因の推定について
- ③追加調査事項の抽出
- ④取りまとめ(案)の審議

(3)第 3 回事故調査委員会　2014 年 12 月 20 日(土)　大陽日酸(株)本社
- ①追加調査事項について

(4)第 4 回事故調査委員会　2014 年 12 月 25 日(木)　大陽日酸(株)本社
- ①追加調査事項について
- ②取りまとめ(案)の審議

(5)第 5 回事故調査委員会　2015 年 1 月 3 日(土)　大陽日酸(株)本社
- ①追加調査事項について
- ②破裂発生メカニズムについて

③調査報告書(中間報告)案の審議

(6)第 6 回事故調査委員会　2015 年 1 月 12 日(月)　大陽日酸(株)本社

①第 1 回事故対策審議会指摘事項について

②追加調査事項について

(7)中間報告　2015 年 1 月 16 日(金)　(株)大分サンソセンター

(8)第 7 回事故調査委員会　2015 年 1 月 23 日(金)　大陽日酸(株)本社

①事故対策審議会指摘事項について

②追加調査事項について

③間接要因、再発防止対策について

④調査報告書(案)の審議

(9)第 8 回事故調査委員会　2015 年 1 月 25 日(日)　大陽日酸(株)本社

①調査報告書(案)の審議

1.3.事故対策審議会

1.3.1.事故対策審議会の目的および構成

事故対策審議会は、事故調査委員会の調査・検討結果を公正な立場で客観的に評価、審議し本事故の原因と再発防止対策を確定する目的として、以下のとおり学識経験者 2 名を含む社外委員 4 名および社内委員 2 名で構成された。

議長	堀口　貞茲	東京理科大学講師(非常勤)
委員	柘植　義文	九州大学教授
	赤塚　広隆	高圧ガス保安協会　高圧ガス部審議役
	木村　晃平	新日鐵住金(株)　防災推進部長
	勝又　宏	大陽日酸(株)　技術本部長
	新井　一成	大陽日酸(株)　オンサイト・プラント事業本部長

1.3.2.事故対策審議会の経緯

事故対策審議会の開催日および主な審議内容は以下のとおり。

(1)第 1 回事故対策審議会　2015 年 1 月 8 日(木)　(株)大分サンソセンター

①事故対策審議会の運営について

②事故概要確認と事故現場の検証

③調査報告書(中間報告)案の審議

(2)第 2 回事故対策審議会　2015 年 1 月 19 日(月)　大陽日酸(株)本社

①第 1 回審議会指摘事項の審議

②追加調査事項の審議

(3)第 3 回事故対策審議会　2015 年 1 月 28 日(水)　大陽日酸(株)本社

①審議会指摘事項の審議

②調査報告書(案)の審議

2. 事故の概要

2.1.発災事業所および発災設備

(1)発災事業所

大分県大分市大字西ノ洲 1 番地　新日鐵住金(株)大分製鐵所構内

(株)大分サンソセンター

(2)発災設備

No.3 放液溜

2.2.発災日時

2014 年 12 月 12 日(金)　午前 9 時 6 分

2.3.被害状況

(1)人的被害　　なし

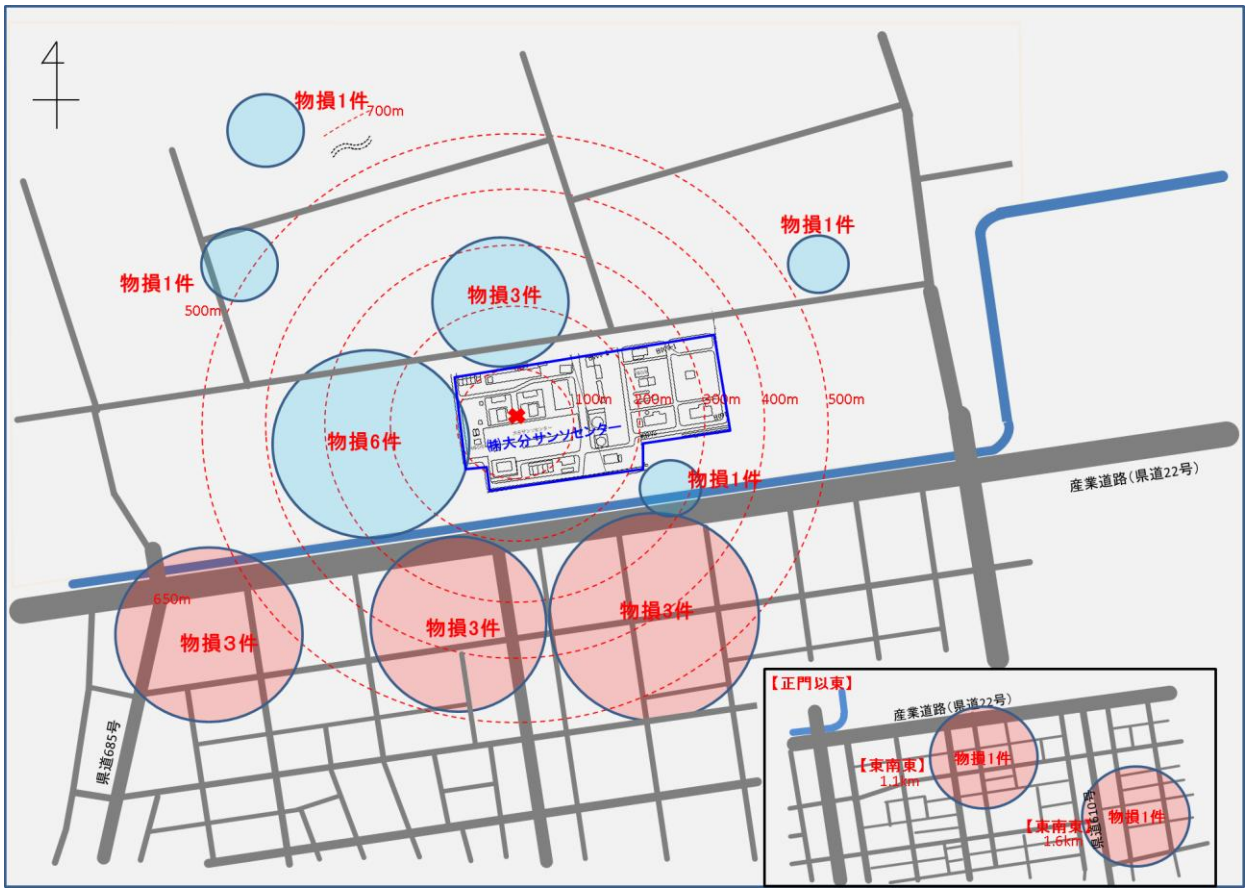
(2)物的被害　　放液溜全体が破損

周辺設備の液化装置の破損によるパーライト(粉末断熱材)噴出

関連配管破損

約 650m の範囲に破片が飛散(製鐵所構外に飛来・物損)

飛来物・被害状況については、図 2-3 に示す。



(図 2-3)飛来物・被害状況

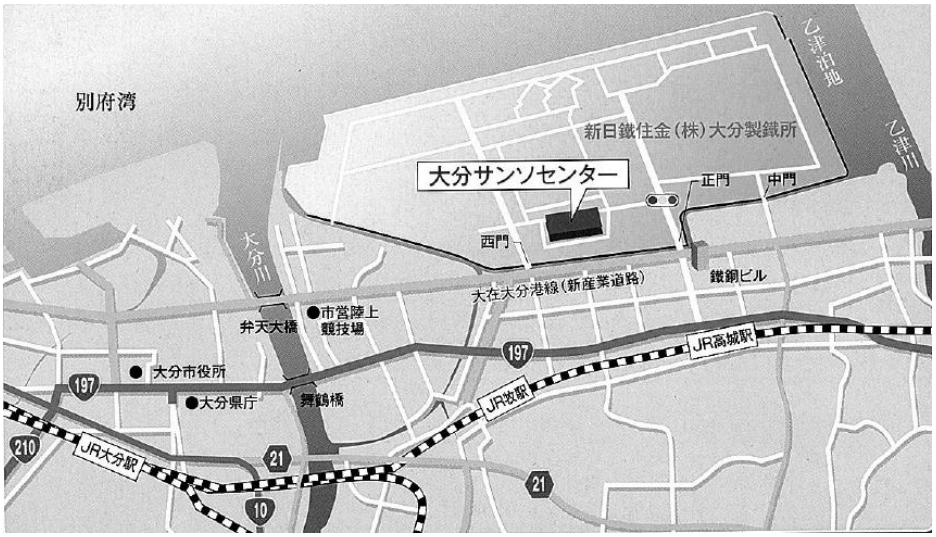
3. 発災事業所および発災設備の概要

3.1.発災事業所の概要

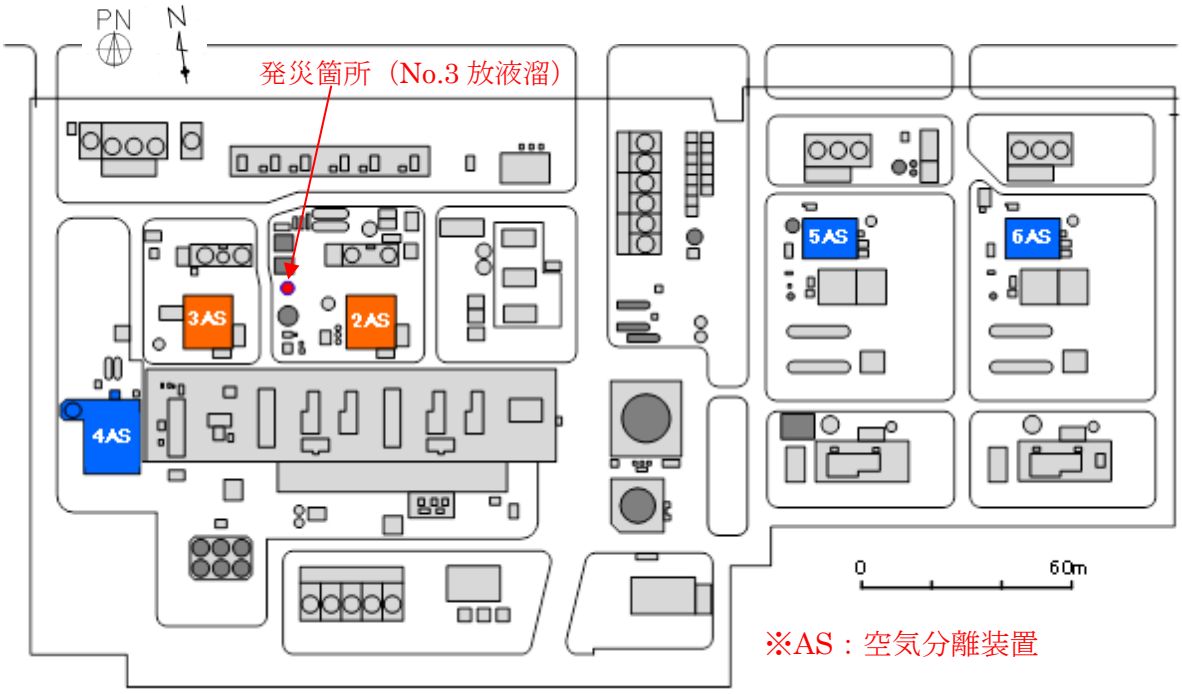
(株)大分サンソセンターは、大分県大分市の新日鐵住金(株)大分製鐵所構内に位置する製造所で、酸素、窒素、アルゴンガスの製造を行っている。所在地を図 3-1-1 に示す。

製造した酸素、窒素、アルゴンガスはパイピングで新日鐵住金(株)大分製鐵所へ供給され、液化酸素、液化窒素、液化アルゴンは大陽日酸(株)に引き取られ、タンクローリーによって一般需要家に供給されている。

破裂したNo.3 放液溜の設置位置は図 3-1-2 に示すとおりである。



(図 3-1-1) (株)大分サンソセンター所在地



(図 3-1-2) (株)大分サンソセンター配置図

3.2.酸素、窒素、アルゴンガスの製造と放液の概要

空気分離装置は、常温の空気を熱交換器等により-170℃以下の極低温状態まで冷却することで液化空気とし、空気を構成する酸素、窒素、アルゴン等を、その沸点差を利用して蒸留分離する装置である。

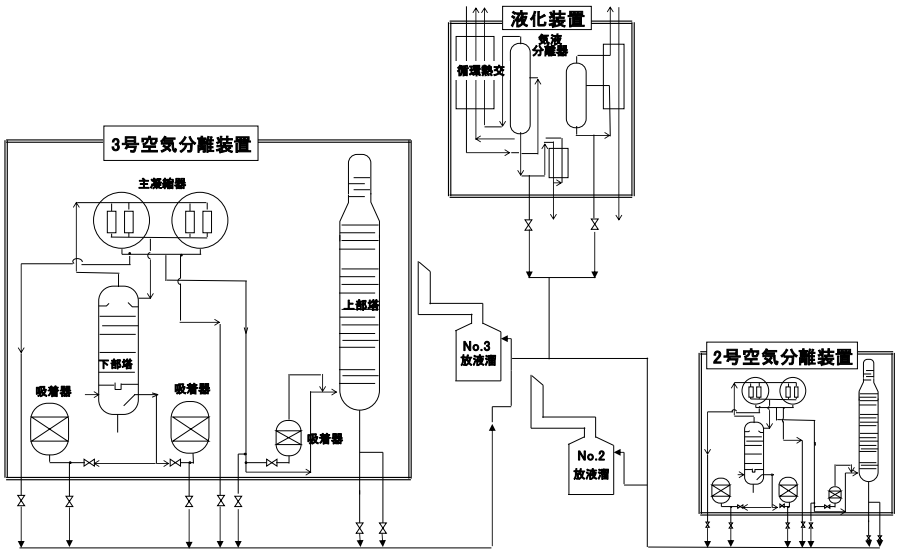
液化装置は、空気分離装置で製造したガスを導入し、液化酸素、液化窒素を製造する装置である。

空気分離装置、液化装置の内部には、液化酸素、液化窒素等の液化ガス(-183～-196℃)が存在しており、定期修理等で装置を停止する場合には、これら液化ガスを装置外へ放液する必要がある。

また、空気分離装置には、液化ガス中に含まれる微量の炭化水素を除去するために、吸着器が付帯しており、吸着した炭化水素を放出するため吸着器内の液化ガスを放液する必要がある。

放液溜は、空気分離装置(含む吸着器)、液化装置から液化ガスを放液する際に、設備や地面等に液化ガスが直接接触することを防ぐ目的で、液化ガスを一時的に貯蔵し、気化して安全に排出する設備である。

液化ガスの放液系統図を図 3-2 に示す。



（図 3-2） 液化ガスの放液系統図

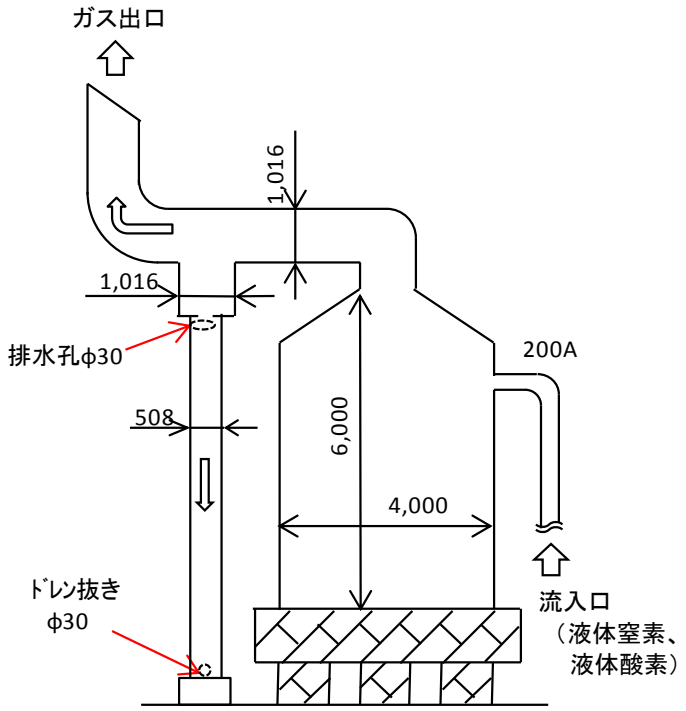
3.3.発災設備の概要

発災したNo.3 放液溜は、1977 年 2 月に 3 号空気分離装置の建設に合わせて設置された、自然蒸発式の大気開放型ステンレス鋼製円筒型容器で、No.2 放液溜とピット内の放液連絡配管で繋がれており、2 号、3 号空気分離装置および液化装置からの液化ガス放液時に使用されている。

No.3 放液溜図を図 3-3 に示す。

＜発災設備 No.3 放液溜＞

・型式　　自然蒸発式 大気開放型 ステンレス鋼製円筒型容器
・形状　　直径 4,000mm × 高さ 6,000mm × 肉厚 3mm(胴板)
・液入口配管　　200A
・放出筒(ガス出口管)　外径 1,016mm × 肉厚 6mm
・製造年月　　1977 年 2 月



（図 3-3） №3 放液溜図

4. 事故の発生状況

4.1.破裂事故の発生と対応

(1)破裂事故に至る過程

2014 年 12 月 12 日(金)

午前 6 時 55 分　3 号空気分離装置　原料空気圧縮機停止

8 時 00 分　3 号空気分離装置　放液開始

9 時 06 分　№3 放液溜　破裂事故発生

(2)事故後の主な対応

石油コンビナート等災害防止法、高圧ガス保安法の緊急連絡体制に基づき、以下の対応が取られた。

2014 年 12 月 12 日(金)

午前 9 時 06 分　新日鐵住金大分製鐵所保安センター(正門)に対し、大きな破裂音発生の旨を通報

9 時 07 分　保安センター(正門)より消防通報

9 時 10 分　大分サンソセンター災害対策本部設置

9 時 23 分　正門に警察、消防車両到着

酸素ガス、窒素ガス漏洩のため、50m 内立入規制を実施

9 時 42 分　大分県消防保安室へ 3 号空気分離装置放液溜破損の旨を連絡

9 時 47 分　当日出勤社員、協力会社社員の安否確認完了

4.2.周辺設備破損状況

放液溜破裂および飛散物により周辺設備に破損が発生

・第 1 液化装置は外槽が破損し、パーライト(粉末断熱材)が飛散

・第 2 液化装置は外部配管とケーブルの一部破損
・3 号空気分離装置は外槽に数カ所の穴、踊り場等の破損
・100 トン液化窒素貯槽は破片による凹みが多数あり、数ヶ所の亀裂(パーライト噴出あり)
・周辺配管破損によるガス漏洩は 8 ヶ所 (12 月 14 日 14 時 30 分に全ての漏洩停止処置完了)
・製造工場建屋窓ガラス、スレート屋根、外壁破損
・発災直後に周辺に氷の飛散が認められた。

5. 現地調査結果

5.1.No.3 放液溜関連設備の点検結果

(1)No.2 放液溜点検結果

発災したNo.3 放液溜と同型で放液連絡配管で接続されているNo.2 放液溜を点検した結果は次のとおり。

・内部に水が残留しており、水量は放水結果より 28.39m3、水面高さ 2,260mm であった。
・内部開放点検では氷と異物(断熱材等)が確認された。
・雨水排水用孔に閉塞等の異常は見られなかった。

(2)放液連絡配管ピットおよびフランジガスケット調査結果

No.2,3 放液溜の放液連絡配管ピットおよびフランジガスケットを点検した結果は次のとおり。

①配管ピット

・給水配管系統の 2 ヶ所に漏水が確認された。
・ピット滞留水排水用ポンプ 2 台の内、1 台の故障が確認された。

②配管およびガスケット

・1 ヶ所でガスケット下側(6 時方向)が約 20～30mm 欠損が確認された。
・2 ヶ所で配管内に水が確認された。
・取り外したガスケットの厚み測定結果で、初期のガスケット肉厚 3mm が残っており、十分な面圧でフランジを締付けていない箇所が 1 ヶ所確認された。

5.2.No.2,3 放液溜の整備・運転状況

①2001 年 8 月 6 日～10 日　No.3 放液溜底板変形補修実施

・No.2,3 放液溜に水が溜まっており、No.3 放液溜底板が変形し(膨らみ)、基礎ボルトが破断していた。
　＊溜まった水量　No.2 放液溜　水面高さ 320mm、No.3 放液溜　水面高さ 580mm
・当時、原因は放液時に氷が生成し、膨張により底板が変形したと推測。
　水溜りの原因は解析されず、水溜り防止対策は取られなかった。
・水抜き実施、基礎ボルト取替、閉止フランジを水抜き弁に交換、基礎部補修を実施。

②2002 年 8 月 27 日、9 月 3 日　No.1,2 放液溜の水抜き実施

③2011 年 11 月 14～15 日　No.3 放液溜基礎補修

④2012 年 12 月 14 日　放液前にNo.2,3 放液溜の水抜き実施
　　ｓ　この間、計 125 回放液溜を使用

⑤2014 年 12 月 12 日　3 号空気分離装置停止に伴う液化ガス放液

5.3.№3 放液溜破損・飛散状況

(1)飛散状況

破裂した№3 放液溜の破損、飛散状況は以下の様な状態であった。

回収した破断品のうち、場所が特定できた破片の展開図・飛散図を図 5-3 に示す。

①天板(円錐胴)

胴板との接合部で破断し、さらに 2 分割で飛散し南東方向へ約 150m、250m の位置に飛散していた。

②胴板

複数に破断し、多くの破片は周囲の建屋と衝突しているため、放液溜近傍約 100m 以内の範囲に飛散した。また、約 250m の位置に飛散した大型の破片も有った。

③底板

胴板との接合部近傍が破断し、湾曲状に変形し、南東方向に僅かに移動していた。

④基礎

地中底盤の上に建つ 5 本の柱型に支持された高床式の底板基礎となっており、放液溜底板下に存在したこの高床式基礎部分は完全に崩壊した。

(2)破断状況

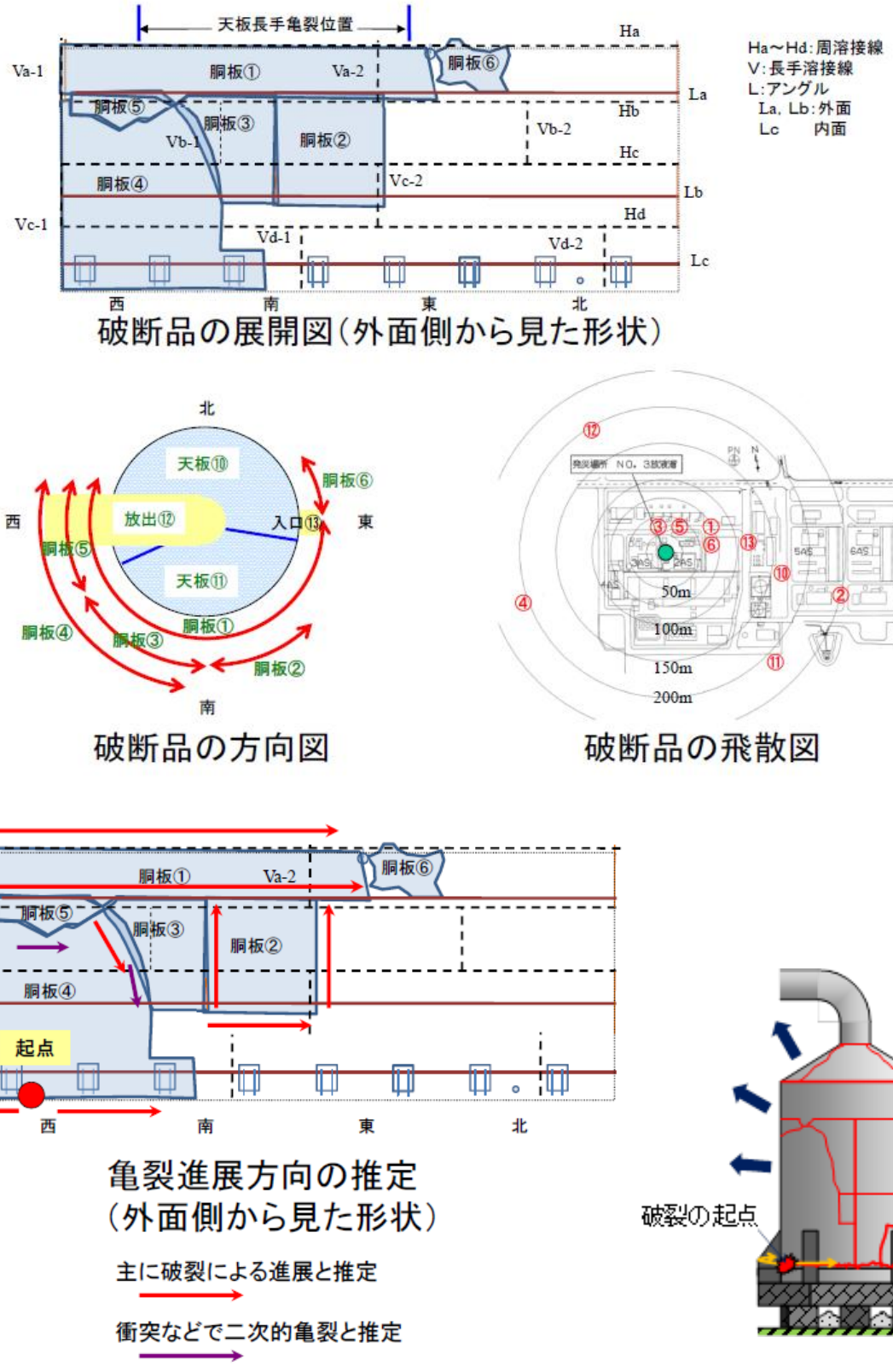
・破断は胴板周方向、鉛直方向に直線的に進展している傾向にある。

・破断は肉厚に対し、大半が 45 度方向に生じており、延性破壊の典型的な状況であった。

・亀裂進展方向は、西から東に向かうもの、底部から上部に向かうものが多かった。

・天板の最終破断部は東南方向であった。

以上の調査結果より、亀裂の起点は西北西方向底部で発生し、東南方向上部に向かって進展していったものと推定する。



（図 5-3）破断品の展開図・飛散図

6. 事故原因の推定

6.1.FTA 解析

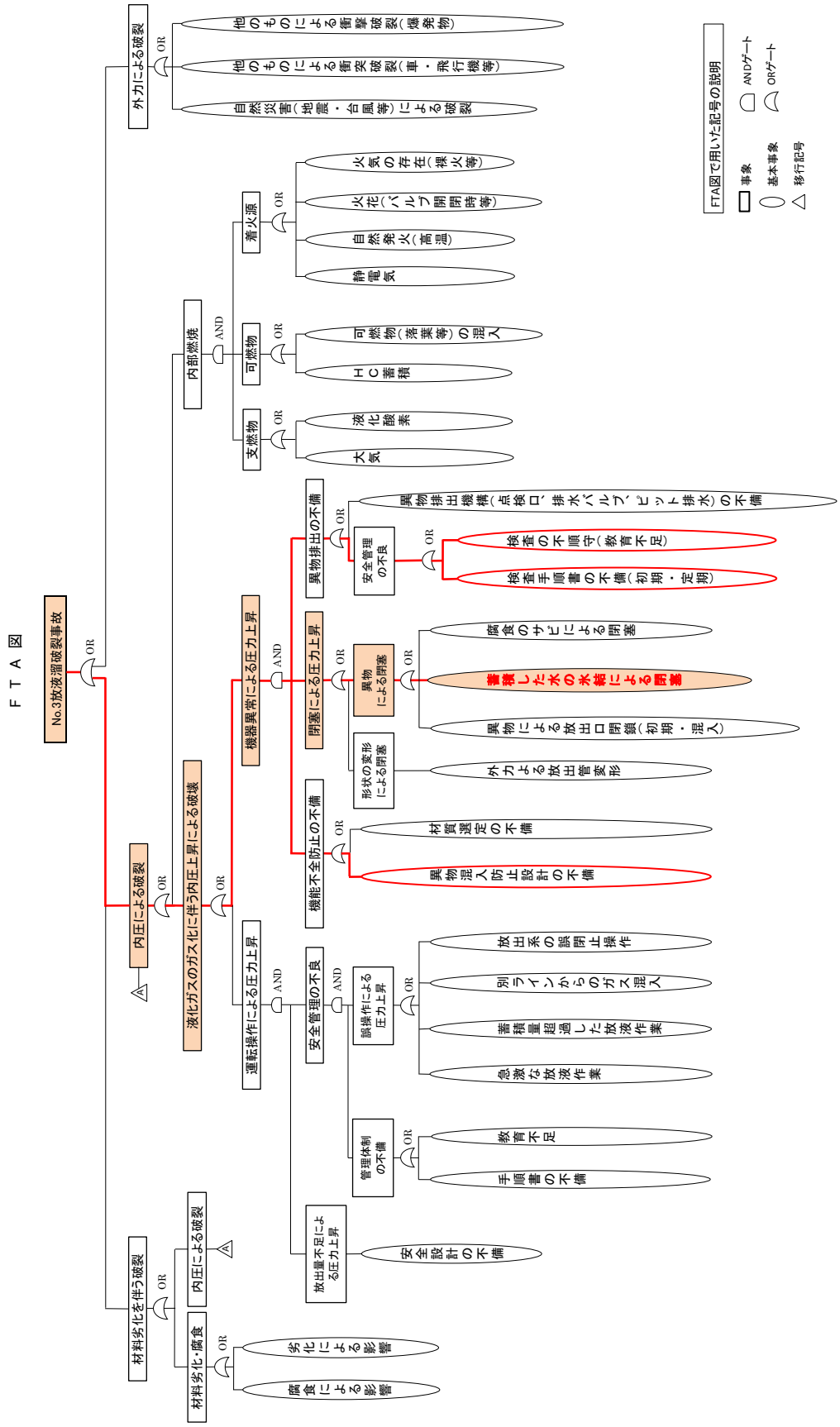
「放液溜破裂」事象を発生させるための要因を FTA 解析した。FTA 図を図 6-1 に示す。

FTA 解析による事故要因分析結果、主要因としては次の2つが想定された。

(1)炭化水素の燃焼による破裂

(2)滞留水の氷結閉塞による破裂

2 つの要因を更に絞り込むために 6.2 および 6.3 項の検討を行った。



（図 6-1） FTA 図

6.2.炭化水素の燃焼による破裂について

6.2.1.放液溜内の炭化水素濃縮挙動調査

メタン 35.88ppm を含む放液ガス(液化酸素と液化窒素の混合液化ガス)が蒸発する場合、液化ガス中のメタンは 0.245%まで濃縮される。

しかし、メタン 0.245%の酸化反応に伴う発熱量は、液化ガスの蒸発潜熱として吸収され、温度上昇に伴う酸化反応促進には至らない。また蒸発により発生するガス中のメタン濃度は 274ppm で液化酸素温度付近(-182℃)の燃焼下限界(7%)より十分小さいので連続的な燃焼には至らない。

【判定】放液溜内の炭化水素が濃縮されても、その濃度から燃焼を引き起こすことはない。

6.2.2.メタン全量燃焼と金属破片の飛翔

物理的にはあり得ないが、仮に放液ガス中に溶け込んでいたメタンの全量が完全燃焼し、運動エネルギーに変換されたと仮定すると、約 2m 角の破片を 26.2m 飛翔させることとなる、一方　実際の飛翔距離約 250m に比較してはるかに小さい。

【判定】メタンが全量燃焼したとしても、実際の破片を飛翔させるエネルギーは発生しない。

6.2.3.着火源となる静電気について(放液溜の接地)

(1)放液溜は金属配管により空気分離装置と連結されており、空気分離装置は接地されている。

(2)放液溜はコンクリート基礎上に設置されている。コンクリートは導電性があり地面と接地されている。

(3)№2 放液溜の接地抵抗測定結果は 2.4Ω であり、十分な接地がされている。

【判定】十分な接地がされているため、放液溜で帯電せず着火源とならない。

【炭化水素の燃焼による破裂に関する判定】

以上の検証結果に加え、飛散物に溶損やカーボン等の付着が見られなかったこと、№2 放液溜の残留水の分析結果で有機成分が検出されなかったことから、「炭化水素の燃焼による破裂」の可能性は無いと考えられる。

6.3.滞留水の氷結閉塞による破裂について

6.3.1.圧力上昇のメカニズム

被害状況および現地調査の結果から、破裂に至るメカニズムを以下に示す。

(前提)放液溜内部に水が滞留していた。

過去に水が滞留していた記録があること、および放液連絡配管で連結されている№2 放液溜に水が滞留していたことから、№3 放液溜にも水が滞留していたと推定される。

【内部圧力上昇メカニズム】 水面上に氷の蓋が形成し、氷の下の内圧が上昇し破裂

①液化ガス(液化酸素 69%・液化窒素)は、放液溜に放出される。

②液化ガスは塊状になって水中に沈み、水と熱交換し瞬時に気化して放出筒を通って大気へ排出。この熱交換により、水面上に氷を形成開始。

③氷が成長し、水面上に氷の蓋が形成し閉塞が進行。氷と水の間の液化ガスが徐々に気化して内圧が上昇。

④氷が完全に閉塞し、更に氷と水の間の液化ガスが更に気化して内圧が上昇し放液溜が破裂に至った。

このメカニズムの検証のため、「水の浸入経路および浸入量」、「液化ガス放液量および氷結量」、「氷の形成状況と氷の閉塞による内圧上昇」の検討を実施した。

6.3.2.水の浸入経路および浸入量の検討

(1)放出筒からの雨水の浸入の検討

放出筒上部から雨水が浸入するが、全量が上部ドレン抜き配管部に導かれる。

大分市の過去 2 年間の最大降水量は 52.5mm/h(2013 年 7 月 3 日 16 時 00 分)で、この時の雨水流入量は 0.69L/min となる。この流入量のときの排水孔からの液面高さは 0.038mm であり、ドレン抜き配管高さ 992mm を超えて放液溜に流入することはない。

また、№2 放液溜の排水孔の点検結果でも、閉塞等の異常は無かった。

【判定】放出筒からの雨水の浸入は、無いと考えられる。

(2)外気浸入による凝縮水滞留の可能性

放液溜は、凝縮水(結露)が発生する可能性はあるが 0.0025m3 と少量であり、凝縮水発生後に乾燥ガス(再生ガス)を放液溜に流す作業があるため、凝縮水は蒸発するため滞留しない。

【判定】外気浸入による凝縮水の滞留はないと判定される。

(3)放液連絡配管フランジガスケット破損部および締付不足部からの浸入の検討

本事故発生後の№2,3 放液溜連絡配管縁切りおよび点検作業において、ピット内に敷設されている連絡配管のフランジガスケット部に、破損および十分な面圧で締付けていないものが確認されている。

放液配管経路図を図 6-3-2 に示す。

ガスケット破損部が存在すると、配管内部に水が浸入し、配管内の水がガス流速によって放液溜に移動することが検証実験にて確認されている。

配管内部の浸入水が№2,3 放液溜にどの様に分配されるか、次のような検証実験を行った。

「放液連絡配管に溜まった水の挙動検証」

ビニル配管で放液連絡配管の約 1/8 縮小モデルを製作し、全放液ラインに内径の約 1/3(8mm)に水を入れ、ドライエアを流速 48.7m/s で通気させた結果、液化装置および 3 号空気分離装置ラインからの通気では№2 放液溜に多く分配され、2 号空気分離装置ラインからの通気では№3 放液溜への分配が多いことが確認された。また 2 号空気分離装置の放液ラインのみに水を入れ、2 号空気分離装置ラインからの通気により液化装置および 3 号空気分離装置ラインに水が流入することが確認された。

【水の分配量の推定】

検証実験で放液連絡配管内の 1/3 が水で満たされていたと仮定した場合の№2 放液溜水面高さは 3,290mm/2 年、№3 放液溜は水面高さ 2,320mm/2 年と推定される。

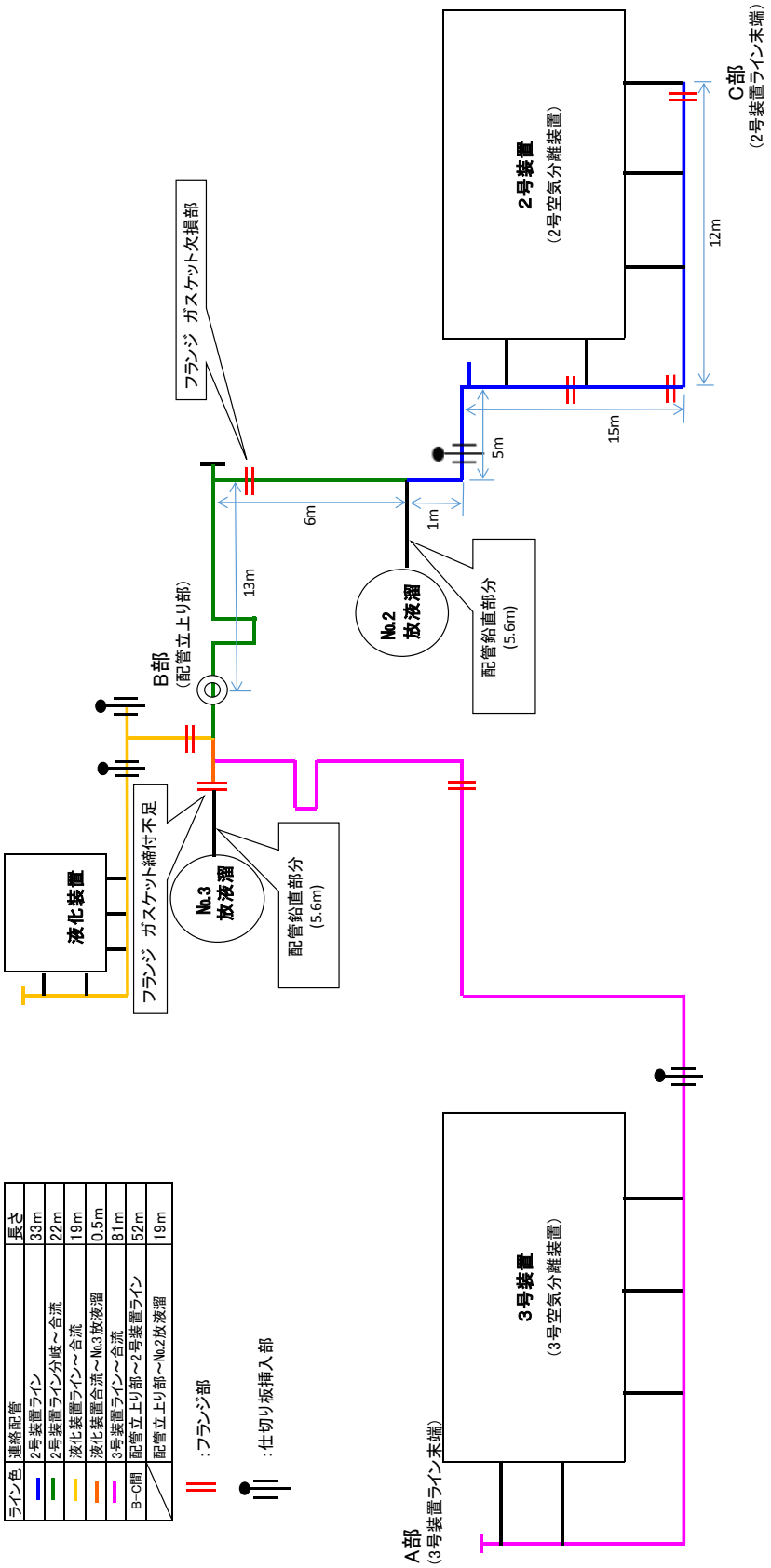
【判定】過去の水抜き記録では№2 と№3 は同等もしくは№3 の水量が多く、№2 放液溜の点検結果では実際の水面高さは 2,260mm であったこと、および上記の検証実験の結果から、№3 放液溜にも№2 放液溜と同等量の水が滞留していたと推定する。

6.3.3.放液溜への液化ガス放液量および氷結量の検討

3 号空気分離装置からの想定される放液量は合計 38.1m3 であり、放液配管等冷却分および滞留分等

の 7.4m3 を除くと、No.3 放液溜へは 21.1m3、No.2 放液溜へは 9.6m3 が放液されたと推定される。

また、この放液量により生成される氷の厚さと強度(0℃の時)は、No.3 放液溜で 1,345mm、0.846MPa、No.2 放液溜で 613mm、0.175MPa となる。



（図 6-3-2） 放液配管経路図

6.3.4.液化ガスと水による氷の生成検証実験

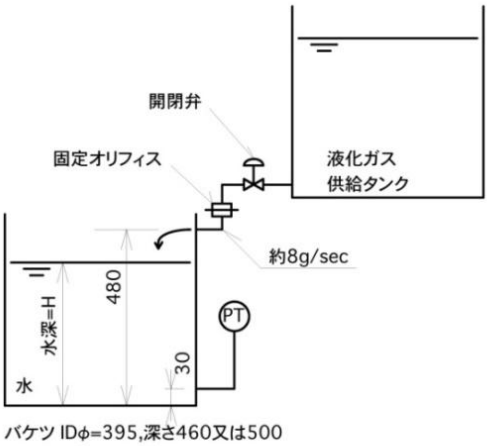
液化ガスと水による氷の生成と昇圧に関する次のような検証実験を行った。

「液化ガスによる製氷と昇圧確認実験」

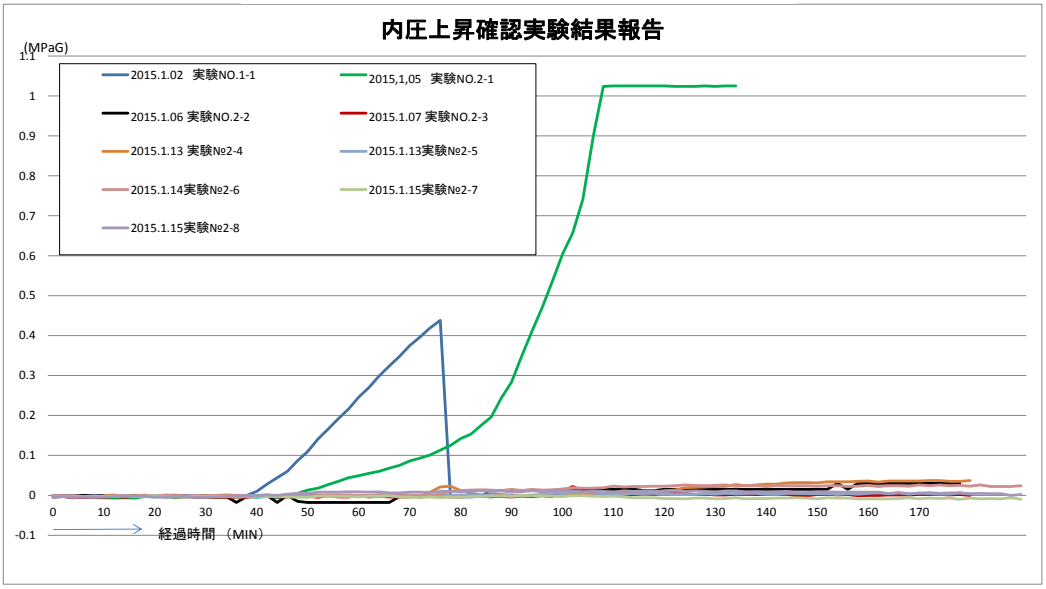
放液溜の約 1/10 モデルを作成し、実際に放液溜に入った液化ガス量と同じ比率の約 8g／sec の液化ガスを水に投入した結果、液化酸素(70%以上)は塊となって水中に沈み、水の下に滞留することなく、蒸発がすすむと氷を形成しながら水面に浮かび上がり、水面上に氷の蓋が形成し、昇圧することが確認された。ただし、毎回昇圧することはなく、昇圧が確認されたのは水面高さ 0.3m～0.32m (実機の水面 3.8m～4.2m に相当)での条件の実験回数 12 回に対して 2 回で、その圧力は 0.449MPa から 1MPa であった。また、氷の生成状態では、水面付近に数 mm～数十 mm の大きな空間が繋がった層が確認された。実験装置概略フロー図、内圧上昇確認結果及び氷観察結果を図 6-3-4 に示す。

【判定】水面上に氷の蓋が形成し、昇圧が確認されたことから【内部圧力上昇メカニズム】の可能性が確認された。

【総合判定】:水の氷結閉塞と炭化水素濃縮の二つの要因について検討を行った結果、「水の氷結閉塞による破裂」が事故要因であることが高いと判定される。



実験装置概略フロー図



＊実験№1-1 は、0.449MPa にて氷の蓋が破裂。

＊実験№2-1 は、圧力計のレンジオーバーで、実際は 1MPa 以上の圧力であったと推測される。

製氷実験結果（氷観察）外観写真

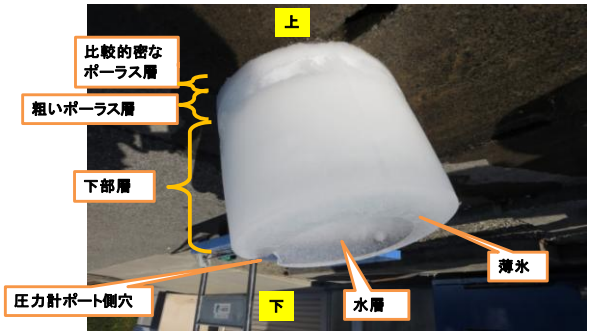


写真1.全体写真：容器からの取り出し直後。

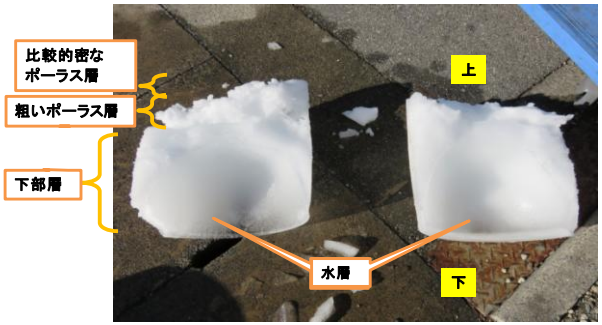


写真3.断面写真

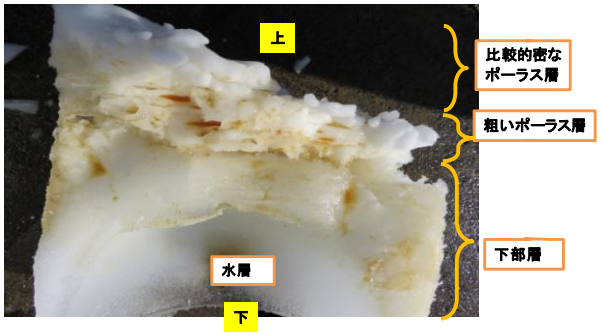


写真5.着色後，断面側写真

写真2.全体写真：横倒し

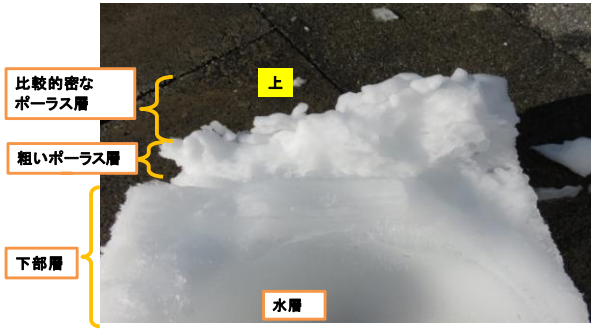


写真4.断面詳細写真

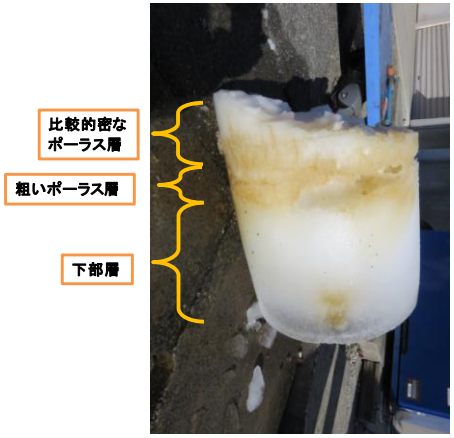


写真6.着色後，外周側写真

6.4.破片からの破裂圧力の推算

6.4.1.破片飛翔距離から破裂圧力の推算

250m 先に飛翔した約 2m 角の胴板を対象とした結果、初速度 117m/s 以上、破裂圧力は 0.248MPa 以上という値が得られた。

6.4.2.底板の変形量からの破裂圧力の推算

底板全体が南東方向に約 200mm 移動し、基礎柱間の最大変位量は約 440mm となっている。内圧 0.2MPa で底板の最大変形量は約 460mm であり、実測した最大変形量約 440mm と概ね一致する。

6.5.放液溜の破裂圧力の推算

6.5.1.放液溜の構造上の強度から破裂圧力の推算

＜解析手法・条件＞

・常温における材料定数を使用し、弾塑性変形を考慮した。

・材料の引張強度を超えた応力が発生する、内圧を探索する。

＜解析モデル＞

①コンクリート基礎が内圧によらず健全性を維持する場合

②コンクリート基礎が破壊・崩落し存在しない場合

③上記②で、応力値が局所的に材料強度を超え、破壊に至った後の場合

＜解析結果＞

放液溜の内圧が徐々に上昇すると仮定した場合、コンクリート基礎が破壊・崩落に至る内圧の大きさにより、以下の 3 通りが想定される。

Ⅰ)コンクリート基礎が 0.14MPa よりも小さな内圧で破壊・崩落に至る場合

内圧 0.14MPa 以下でコンクリート基礎が破壊・崩落し、0.14MPa に達した段階で、底板−底部アングル間のシール溶接が破断。0.3MPa に達した段階で、底板−胴板間すみ肉溶接部ビード上方で胴板が破断し、放液溜の破裂に至る。

Ⅱ)コンクリート基礎が内圧 0.14～0.3MPa で破壊・崩落に至る場合

内圧 0.14～0.3MPa でコンクリート基礎が破壊・崩落し、直ちに底板−底部アングル間のシール溶接が破断。0.3MPa に達した段階で、底板−胴板間すみ肉溶接部ビード上方で胴板が破断し、放液溜の破裂に至る。

Ⅲ)コンクリート基礎が 0.3MPa よりも大きな内圧でも健全性を維持する場合

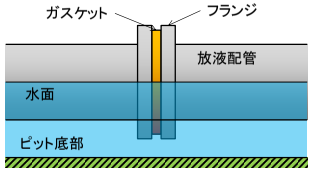
内圧 0.3MPa に達した段階で、底板−底部アングル間のシール溶接、および底板−胴板間すみ肉溶接部の溶接ビード上端が破断し、放液溜の破裂に至る。

6.5.2.基礎強度からの底板面圧の推算

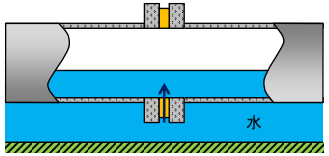
基礎が放液溜内圧を受けた場合、圧力 0.1MPa で局所的にコンクリート基礎耐力を超え、0.2MPa ではその範囲が広範囲に広がる結果となった。

6.6.破裂発生に至るメカニズム推定

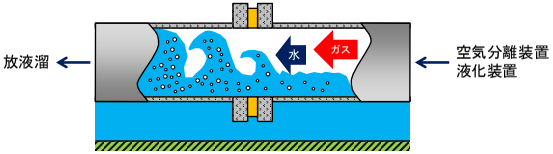
これまでの推算と検証実験結果から、破裂に至るメカニズムを推定した。



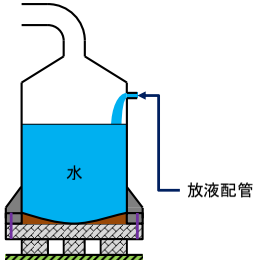
① 放液配管が納められたピット内へ水が溜まる。



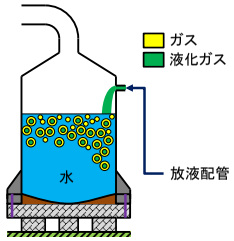
② ガスケット破損部から、ピット水が放液配管内へ浸入。



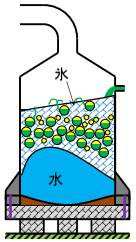
③ 放液時のガス流れにより、配管内水が放液溜方向へ押し込まれる。



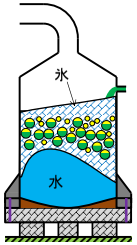
④ ②から③を繰り返され、放液溜内に水が溜まる。



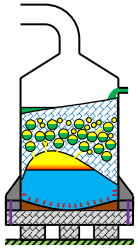
⑤ 放液時に液化ガスが供給され、放液溜内の水と熱交換を行う。



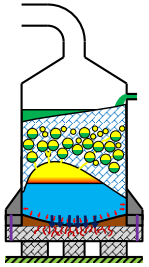
⑥ 上面が氷層で覆われ、内部の液化ガスとガスが亀裂から噴出する。



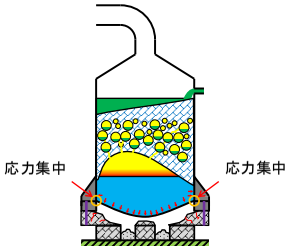
⑦ 氷層の亀裂が塞がり、内部に液化ガスとガスが閉じ込められる。



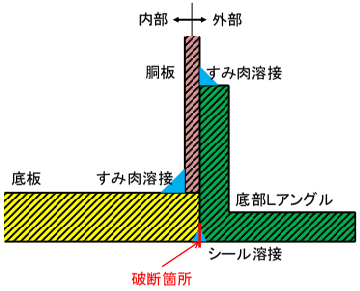
⑧ 表層内の液化ガスが気化し、亀裂を通じて氷層下へ圧力の高いガス層を形成。



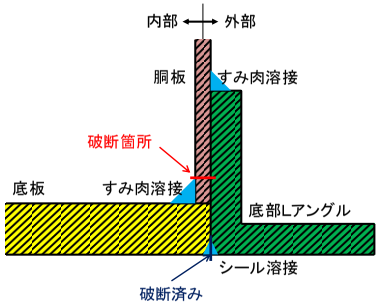
⑨ 底板の内面に加わる内圧が基礎コンクリートへ伝わり、内圧 100kPa で応力に耐えきれず崩落を開始。



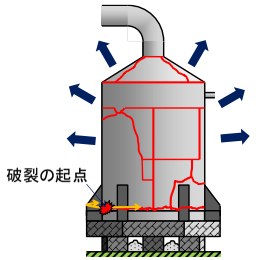
⑩ 基礎コンクリートの支えが無くなり、底板と胴板の溶接部分へ応力が集中する。



⑪ 内圧 140kPa で底板と底部 L アングル間のシール溶接部が破断。



⑫ 内圧 300kPa で底板と胴板間のすみ肉溶接の上方で胴板が破断。



⑬ 胴板の破断箇所を起点に亀裂が進展、放液溜の破裂に至る。

7. 要因

直接要因

放液溜に水が滞留したことが直接要因である。

・雨水及び配管漏水と排水ポンプ故障により配管ピットに水が滞留

・放液連絡配管フランジガスケット破損部および締結不足部からの配管内に水が浸入

・配管内から放液溜へ水が移動し滞留

・液化ガスにより放液溜内部に氷が発生し内部の液化ガスが気化し圧力が上昇し破壊に至った

間接要因

2001 年 8 月に№3 放液溜において底板変形のトラブルが発生した。このとき大分サンソセンターでは、放液時に放液溜に滞留していた水により氷が生成、膨張したことが原因と推測した。当時の作業員へのヒアリングの結果、1977 年の設置以来数多くの放液作業を実施してきたが、破裂することを想定できなかったことや、放液溜の中に水が存在していたとしても、液化ガスを放液すると放液溜底部にて水が氷となるだけとの認識であった。大陽日酸は 2001 年 11 月に大分サンソセンター訪問の際に本事象を知ったが事故故障データベースに登録するだけで、技術部門に情報が伝達されなかった。

今回の事故発生原因も同様に水の滞留が起因となっている。 №4,5,6 放液溜の水抜き作業は目的が違いながらも確実に実施されているにもかかわらず、№2,3 放液溜の水抜き作業は、直近では 2012 年 12 月に実施されたのみである。

以上のことから当該事故発生の間接要因を抽出した。

(1)2001 年の底板変形トラブルの検証と対策不十分

①氷による膨張と判断、他要因を考慮できなかった。

非高圧ガス設備、大気開放であり、閉塞、破裂につながるリスクの大きい事象であるものとして認識され難く、また過去に大気開放の設備でこのような事故事例もなく、放液溜が破裂することを想定できず、氷による膨張と判断した。

②水が大量に滞留することを異常と捉えず、水浸入経路の追求を行わなかった。

滞留水があっても放液作業にはなんら影響を及ぼさないとの認識で、通常の使用状態とは異なる「大量の水の滞留」という異常状態について問題意識を持たず、水浸入の調査を行わなかった。

③トラブル対策として水抜き弁を設置したが作業手順の変更をしなかった。

工場組織内での指示命令の連携不足により、作業手順書の変更をしなかった。そのため、担当者間での引継ぎおよび水抜き弁を操作することを作業員に対して周知、教育ができていなかった。

(2)水抜き弁の未操作

①作業手順書に水抜き作業が記述されなかった。

設置当時の№2,3 放液溜には設計上排水口はあり、閉止フランジとなっていた。図面には「水抜き」と示されていたが、大陽日酸の取扱説明書に水抜き作業の記述がなかったため、大分サンソセンターの作業手順書にも水抜き作業が記述されなかった。

②他の同類設備での水抜き弁操作手順を反映しなかった。

№..4,5,6 放液溜は、スチーム加温式であるため、スチーム漏れ確認の目的で放液溜の水抜き作業が作業手順で定められ実施されていた。(№4 1999 年稼働、№5 2003 年稼働、№6 2007 年稼働)
№4,5,6 放液溜水抜き作業の目的は違うものの、№2 と№3 放液溜の過去における水の滞留事実を考え合わせ水抜き作業を作業手順へ反映すべきであった。

以上のことから問題点として、次の事が考えられる。

1)異常に対するリスク感性の不足。

2)工場管理上の PDCA の不足(連携不足と情報の共有が不十分)。

3)Know-Why を関連付けた教育等、安全に対する取組み不十分(技術伝承不足)。

8. 再発防止対策の提言

今回は、これまで類似の事故事例が無く想像し難い事故であったが、直接原因である水浸入防止対策を実施すると同時に間接要因として挙げられたトラブル事象の対策と運用が確実に伝承できていれば防げた事故であったと推測する。

今後は、大気開放系設備においても条件が揃えば破裂を伴う大きな事故が発生するとの見識に立ち、設備においては十分に安全対策を実施することが必要であると同時に、事故やトラブルの教訓を風化させずに活かし続けることが事故の再発を防ぐ最も効果的な方法の一つであるとの強い認識を持ち、安全活動により積極的に取り組む必要がある。

間接要因として挙げたものは2001年の底板変形トラブル発生時点での対応を踏まえたものであるため、現時点で解消したものもあるかもしれないが、その確認も含めて以下のとおり再発防止策を提言する。

8.1.大分サンソセンターの取組み

(1)設備管理・作業管理・運転管理

①放液溜の確実な水抜き実施とルール化

②設備異常時の情報伝達を確実に行う

③全作業手順書の内容見直し

④設備・作業リスクの洗い出しと改善

(非高圧ガス設備、非高圧部のフランジ、排水ピットも含む)

⑤Know-Whyを加味した工場管理基準・作業手順書の整備

(2)人材・教育

①当該事故の内容の全従業員への教育。

②日常的な安全活動の推進による、リスク感性の向上。

1)作業員への作業手順等の教育の際にはその目的も教育する。

2)事故・トラブル事例を活用した教育の徹底および安全風土醸成のための活動の継続。

・安全衛生委員会やKY等で過去事例について繰り返し教育する。

・安全意識や現場力を向上させるための対策を講じ、活動を継続させる。

・ヒヤリハット活動等、日常的な保安・安全活動を推進し、リスク感性の向上を図る。

8.2.大陽日酸の取組み

(1)関連事業所の総点検

①放液溜についての調査及び内部点検の実施、ならびに作業手順の確認と改善。

②類似の主要設備以外(非高圧ガス設備、非高圧部のフランジ、ピット等)のリスクアセスメントの実施。

③工場管理機能のチェック徹底。

1)所管部署による工場管理、故障対応のチェック。

2)これまでのコンプライアンス主体の保安監査に加えて、工場の運営管理システムの機能状況等についての監査の実施。

(2)放液溜の設計への反映等。

①液化ガスを安全に放出させるための安全設計を考慮。

(3)納入先ユーザーおよび他社装置メーカーへの水平展開

①放液溜についての水抜き作業の実施、ならびに作業手順のルール化の注意喚起。

9. おわりに

産業・医療ガスを取り扱う大陽日酸グループは「ガスを売ることは安全を売ること」の精神に則り、自主保安活動を推進し、事故災害撲滅に向け、取り組んでおりました。しかしながら今回の事態を鑑みるに、その取り組みは今なお不十分であると言わざるを得ません。

一般に、事故災害の原因としてヒューマンエラーに起因するものが多いと言われており、今回の事故もリスク感性不足、技術伝承不足、情報共有化不足等が間接要因として上げられた。

大陽日酸グループは、これら間接要因はいずれの事業所においても潜在すると捉え、本報告書で掲げた再発防止策を確実に実行すると共に、グループ全体で、かつ事業所毎に、創意工夫をもって、保安活動を強化、推進していく所存であります。

最後に、本検討ならびに本報告書のまとめに際し、大所高所からご指導いただいた有識者の方々、関係機関、諸団体の多くの方々に厚く御礼申し上げます。

以 上